

PERANCANGAN MODEL PENDUGAAN EFEKTIVITAS WADUK RESAPAN DI KOTA BOGOR TERHADAP OPTIMALISASI AKUIFER AIR TANAH

Sudaryo Broto *, Hadi Susanto **)

Abstract

Flooding is a crucial problem in Jakarta city and there were many ideas to solve that problem, such as canals development, land use management, applying soil conservation technique, check dam building, injection well, reservoir dam until rain moving technique. Reservoir dam is chosen by many experts as a solution to solve about flooding in order to increase and accelerate the rate of percolation to groundwater into their aquifer. this research is preliminary investigation to calculate the effectively of reservoir dam that is consider with water balance and groundwater flow into reservoir dam. In this research is developed by tank model that combine with 2 D of groundwater flow direction based on groundwater level.

Key words: reservoir dam, aquifer, groundwater flow

Pendahuluan

Ilmu hidrogeologi merupakan perpaduan antara ilmu geologi dan ilmu hidrolika di mana kajian dalam buku ini dititikberatkan pada gerakan/aliran air di dalam tanah secara hidrolik. Gabungan dua kata hidro dan geologi menunjukkan secara implisit pengertian geologi dari air. Atau dengan kata lain adalah merupakan suatu studi tentang interaksi antara kerangka sistem batuan dan atau dengan airtanah. Dari sudut pandang hidrolika maka istilah gerakan aliran dalam tanah dikenal dengan hidrolika dalam media porous, karena airtanah mengalir di antara atau di sela-sela butiran tanah yang sekaligus sebagai media. Pengetahuan tentang hidrogeologi ini penting bagi manusia, karena fungsi dan kegunaannya meliputi tiga aspek (Toth, 1990 dalam Kodoatie. R.J., 1996) :

- Aspek sebagai salah satu sumber alam yang dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan bagi umat manusia
- Aspek bagian dari hidrologi di dalam tanah yang mempengaruhi keseimbangan siklus hidrologi global
- Aspek sebagai anggota/agen dari geologi.

Untuk memenuhi kebutuhan air yang makin lama makin meningkat, perlu dibangun suatu waduk. Dalam satu tahun persediaan air di alam berubah-ubah.

Pada musim penghujan air belimpah-limpah, kemungkinan sungai tidak mampu lagi menampung aliran air dan akan menyebabkan adanya banjir. Sementara pada musim kemarau air berkurang, padahal kebutuhan air untuk rumah tangga, listrik, irigasi dan lain-lain masih tetap berlangsung dan dalam kondisi seperti ini terjadi kekurangan air. Untuk itu perlu dibuat waduk sebagai alternatif penyimpanan air.

Waduk adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk menampung air sungai (Hadihardjaja, J., 1997). Konstruksi ini dibuat karena banyak sungai di Indo-

nesia terutama di Pulau Jawa yang memiliki kelebihan air di musim penghujan dan debit sungai sangat kecil di musim kemarau dengan adanya waduk diharapkan air yang berlebihan di musim penghujan tidak menimbulkan banjir dan dapat di-tampung untuk dimanfaatkan di musim kemarau.

Berdasarkan fungsinya waduk dibagi menjadi 2 macam (Hadihardjaja, J., 1997), yaitu :

- Waduk Tunggal Guna (single purpose)
Waduk tunggal guna merupakan waduk yang fungsinya hanya digunakan untuk satu manfaat, misalnya :
 - Waduk untuk irigasi
 - Waduk untuk pembangkit listrik tenaga air
 - Waduk untuk pengendalian air
- Waduk Serba Guna (multi purpose)
Waduk serba guna merupakan waduk yang fungsinya dapat digunakan untuk memenuhi berbagai keperluan sekaligus secara bersamaan antara lain untuk keperluan :
 - Irigasi
 - Pembangkit listrik tenaga air
 - Pengendalian banjir
 - Rekreasi
 - Perikanan
 - Penggelontoran
 - Air minum
 - Dan lain-lain

Bangunan waduk perlu memperhatikan bendungan (termasuk bangunan *spillway*), kapasitas tampungan waduk, sedimentasi waduk dan pengoperasian waduk (Hadihardjaja, J., 1997).

Waduk resapan merupakan salah satu jenis waduk yang memiliki fungsi utama sebagai media resapan air untuk masuk ke dalam lapisan akuifer sehingga air dapat dengan mudah dan cepat masuk ke dalam lapisan akuifer. Pembuatan waduk resapan berbeda dengan pembuatan waduk pada biasanya. Waduk resapan dibuat dengan dasar waduk yang dihubungkan dengan lapisan akuifer. Hal ini sama dengan pembuatan sumur resapan, namun memiliki luasan dan tujuan yang berbeda. Waduk resapan memiliki

*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Geologi FT Undip

**) Mahasiswa Jurusan Teknik Geologi FT Undip

luasan yang lebih besar daripada sumur resapan, sedangkan untuk tujuannya waduk resapan sebagai pengendali banjir dan sumur resapan untuk menambakan cadangan airtanah dalam satuan yang relatif kecil. waduk resapan sampai teknologi pemindah awan (hujan).

Namun, dalam penerapannya tentunya berbagai cara diatas perlu dikaji secara mendalam untuk memperoleh gambaran seberapa efektif dapat mengatasi banjir tersebut. Pada intinya teknik pengaturan lahan, penerapan tindakan dan teknik konservasi tanah, sumur resapan dan waduk resapan berupaya mengendalikan banjir dengan cara menurunkan limpasan dan meningkatkan infiltrasi dan perkolasi. Dengan demikian air hujan yang berpotensi mendatangkan limpasan permukaan dapat diturunkan dan sebagian besar, mengisi akuifer di bawahnya.

Masing-masing cara di atas mempunyai kelebihan dan kekurangan, sumur resapan mempunyai ukuran kecil sehingga jumlah air yang diresapkan ke dalam tanah juga sedikit tapi lebih mudah dilakukan dalam skala rumah tangga. Waduk resapan akan lebih banyak merembeskan air jika lokasinya berada pada recharge akuifer air bawah tanah walau biaya yang diperlukan besar. Keutamaan waduk resapan selain mengatasi banjir juga dapat meningkatkan air bawah tanah sebagai bentuk konservasi air tanah

Waduk resapan pada hakekatnya dapat diklasifikasikan ke dalam waduk tunggal guna (*single purpose*) yaitu berfungsi sebagai pengendali banjir dengan sistem kerja meningkatkan optimalisasi fungsi akuifer, yaitu menambah kemampuan daya simpan air pada lapisan akuifer. Namun, pada beberapa kondisi waduk resapan memiliki fungsi yang lain.

Waduk resapan merupakan salah satu jenis waduk yang memiliki fungsi utama sebagai media resapan air untuk masuk ke dalam lapisan akuifer sehingga air dapat dengan mudah dan cepat masuk ke dalam lapisan akuifer. Adapun kegunaan dari waduk resapan adalah :

1. Mengoptimalkan fungsi akuifer sehingga dapat menambah daya simpan air pada akuifer
2. Dapat berfungsi sebagai pengendali banjir di daerah hilir atau limpasan.
3. Sebagai cadangan air untuk kebutuhan di mu-sim kemarau.

Dan sebelum membuat suatu waduk resapan haruslah mengerti akan sistem akuifer. Akuifer merupakan salah satu sifat batuan terhadap airtanah yang merupakan lapisan pembawa airtanah, yaitu lapisan dimana terdapatnya akumulasi airtanah. Akuifer terbentuk oleh batuan yang mempunyai susunan sedemikian rupa sehingga dapat mengalirkan air yang cukup berarti di bawah kondisi lapangan. Akuifer berada dalam formasi geologi yang tembus air (permeabel) yaitu formasi-formasi yang mempunyai

struktur yang memungkinkan adanya gerakan air melaluinya dalam kondisi medan biasa. Contoh litologi yang tergolong dalam formasi tersebut adalah: pasir, kerikil, batupasir, lava yang retak-retak, batugamping yang berlubang-lubang. Litologi-litologi tersebut memiliki nilai tahanan jenis antara 20 – 40 Ω meter dengan nilai permeabilitas 0,2 – 150 m/hari.

Parameter Hidrogeologi Waduk Resapan

1. Koefisien aliran (C)

Koefisien aliran (C) adalah bilangan yang menunjukkan perbandingan besarnya aliran permukaan yang terjadi terhadap curah hujan. Klasifikasi yang digunakan dalam menilai koefisien aliran setelah disesuaikan dengan tujuan studi (Anonim, 1986) adalah sebagai berikut :

- a. Kelas ekstrim, nilai koefisien aliran = 75% - 100%
- b. Kelas tinggi, nilai koefisien aliran = 50% - 75%
- c. Kelas sedang, nilai koefisien aliran = 25% - 50%
- d. Kelas rendah, nilai koefisien aliran = 0% - 25%

2. Evaporasi dan Evapotranspirasi

Evaporasi merupakan faktor penting dalam studi tentang pengembangan sumber daya air. Evaporasi sangat mempengaruhi debit sungai, besarnya kapasitas waduk, besarnya kapasitas pompa untuk irigasi, penggunaan konsumtif (*consumptive use*) untuk tanaman dan lain-lain. Air akan menguap dari dalam tanah, baik tanah gundul atau yang tertutup oleh tanaman dan pepohonan, permukaan tidak tembus air seperti atap dan jalan raya, air bebas dan air mengalir. Laju evaporasi atau penguapan akan berubah-ubah menurut warna dan sifat pemantulan permukaan (*albedo*) dan berbeda pada permukaan yang langsung tersinari matahari dan yang terlindung. Di daerah beriklim sedang lembab, kehilangan air melalui evaporasi bebas dapat mencapai 60 cm per tahun dan kira-kira 45 cm lewat evaporasi permukaan tanah. Di daerah beriklim kering, seperti Irak dan Saudi Arabia, angka tersebut dapat menjadi 200 cm dan 10 cm. Perbedaan itu disebabkan oleh karena tidak adanya curah hujan dalam waktu yang cukup lama. Semua jenis tanaman memerlukan air untuk kelangsungan hidupnya. Hanya sebagian kecil air saja yang tertinggal di dalam tubuh tumbuh-tumbuhan, sebagian besar air setelah diserap lewat akar-akar dan dahan-dahan ditranspirasikan lewat daun. Dalam kondisi alam (*field condition*) tidak mungkin membedakan antara evaporasi dengan transpirasi jika tanahnya tertutup oleh tumbuh-tumbuhan. Kedua proses tersebut evaporasi dan transpirasi saling berkaitan sehingga dinamakan evapotranspirasi.

2. Infiltrasi dan Perkolasi

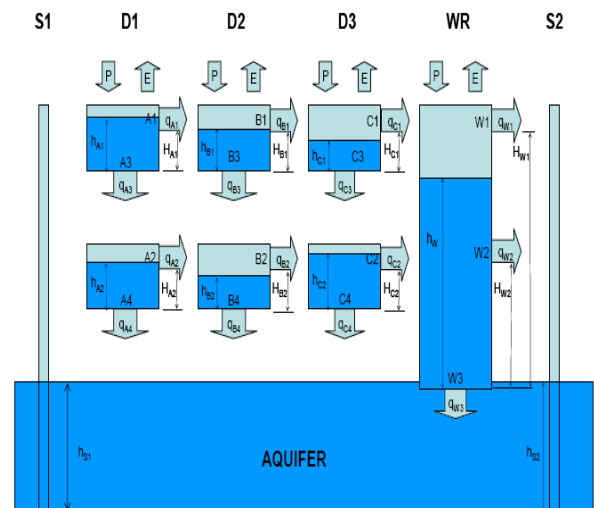
Infiltrasi adalah perpindahan air dari atas ke dalam permukaan tanah. Kebalikan dari infiltrasi adalah rembesan (*seepage*). Sedangkan perkolasi yaitu gerakan air ke bawah dari zona tidak jenuh, yang terletak di antara permukaan tanah sampai ke permukaan air tanah (zona jenuh). Daya infiltrasi (f) adalah laju infiltrasi maksimum yang dimungkinkan, yang ditentukan oleh kondisi permukaan, termasuk lapisan atas tanah. Besarnya daya infiltrasi (f) dinyatakan dalam mm/jam atau mm/hari.

Daya perkolasi (p) adalah laju perkolasi maksimum yang dimungkinkan, yang besarnya dipengaruhi oleh kondisi tanah dalam zona tidak jenuh, yang terletak di antara permukaan tanah dengan permukaan air tanah. Perkolasi tidak mungkin terjadi sebelum zona tidak jenuh mencapai kapasitas lapang (*field capacity*). Istilah daya perkolasi kurang mempunyai arti penting pada kondisi alami (*natural condition*), karena adanya stagnasi perkolasi akibat adanya lapisan semi kedap air yang menyebabkan adanya penampungan tambahan (*extra storage*) sementara di zona tidak jenuh. Tetapi pada akhirnya perkolasi tersebut berjalan terus, meskipun mengalami penundaan. Setelah beberapa waktu kemudian, pada periode kering pendek menyusul badai hujan, air yang diinfiltrasikan setelah dikurangi sejumlah air yang diperlukan untuk mengisi rongga-rongga tanah akan mengalami perkolasi. Daya perkolasi kecil akan terjadi di permukaan air tanah yang terbentuk karena mengumpulnya air tanah di atas lapisan semi kedap air, yang dinamakan *perched groundwater table*. Perkolasi mempunyai arti penting dalam teknik pengisian buatan (*artificial recharge*), yang memerlukan proses infiltrasi yang menerus.

Konsep Perancangan Waduk Resapan

Perancangan model waduk resapan dapat dikonsep dengan menggunakan beberapa model, salah satu diantaranya adalah dengan menggunakan aplikasi model tangki (*tank model*). *Tank model* merupakan model *rainfall-runoff* yang banyak digunakan secara luas di Jepang (Sugawara dkk., 1974 dalam Setiawan, Budi I. dkk., 2003) dan telah dikaji di beberapa Daerah Aliran Sungai (DAS) di Indonesia (Setiawan, Budi I. dkk., 2003). Pada konsep perancangan model waduk resapan ini *tank model* dikembangkan untuk menggambarkan keberadaan aliran permukaan dan rembesan danau dan waduk sebagai komponen sumber dan bak (*sink*) pada persamaan kontinuitas.

Perancangan *tank model* tersebut kemudian dibuat model matematika yang dikembangkan dan dirancang berdasarkan struktur sebuah waduk resapan dengan 3 buah danau buatan dan 2 sumur pantau pada daerah hulu dan hilir. Skematis keberadaan waduk resapan, 3 danau buatan dan 2 sumur pantau dapat dilihat pada gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1 Konsep perancangan model waduk resapan dengan menggunakan sistem tangki model (Setiawan, Budi I. dkk., 2003)

Pada gambar 3.1 menjelaskan mengenai konsep tangki model dalam perancangan model waduk resapan dimana terdiri dari 3 danau buatan yang tersusun ganda yaitu terletak di bagian atas dan bagian bawah dan juga terdiri dari 1 waduk resapan utama yang dihubungkan dengan akuifer dalam.

Model matematika yang dikembangkan dirancang berdasarkan struktur sebuah waduk resapan dengan 3 buah danau buatan. Skematis keberadaan waduk resapan, 3 danau buatan dan 2 sumur pantau, dengan asumsi-asumsi sebagai berikut :

1. Waduk resapan mencapai akuifer kedua pada kedalaman tertentu setelah terlebih dahulu melalui akuifer yang lebih dangkal (terdapat 2 akuifer).
2. Ketiga danau buatan hanya mencapai kedalaman ke akuifer dangkal. Kedua sumur pantau mencapai akuifer dalam.
3. Presipitasi dan evaporasi/evapotranspirasi terjadi baik di waduk buatan dan danau buatan tetapi tidak terjadi di sumur pantau. Sebagian limpasan permukaan dari danau buatan di bagian hulu mengalir menuju danau buatan berikutnya dan sebagian mengalir menuju waduk resapan. Limpasan permukaan hanya terjadi bila muka airnya melebihi batas atas (crest) di setiap danau buatan dan waduk resapan.
4. Rembesan ke arah samping terjadi baik di setiap danau buatan maupun di waduk resapan. Rembesan ini berkontribusi terhadap perubahan muka airtanah pada akuifer dangkal.
5. Resapan ke arah vertikal bawah terjadi di setiap danau buatan dan waduk resapan. Rembesan ini memberikan kontribusi terhadap perubahan muka airtanah di akuifer dalam.
6. Keberadaan sumur pantau 1 jauh di sebelah hulu sehingga tidak memperoleh efek dari adanya perubahan muka airtanah di bawah danau buatan maupun waduk resapan.

7. Keberadaan sumur pantau 2 jauh di sebelah hilir waduk resapan tetapi memperoleh efek perubahan muka airtanah.
8. Aliran airtanah di dalam akuifer dalam mengikuti persamaan Darcy orde dua (persamaan kontinuitas) dan mempunyai kondisi isotropik dan isothermal.

Pada konsep tersebut, sumur pantau 1 dan 2 yang terletak pada bagian hulu dan hilir rencana perancangan model waduk resapan berfungsi sebagai sumur monitoring, yaitu sebagai indikator perubahan ketinggian muka airtanah. Adapun persamaan untuk perhitungan pada sumur pantau adalah sebagai berikut:

$$S \frac{\partial h}{\partial t} = K_x \bar{h}_x \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + K_y \bar{h}_y \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} \pm R(x, y, t) \quad (1)$$

$$R(x, y, t) = q_{A4} + q_{B4} + q_{C4} + q_{W4} \quad (2)$$

$$h_{xy} = h_{xyB1} \begin{cases} \rightarrow x = 0 \\ \rightarrow y = 0 \end{cases} \quad (3)$$

$$h_{xy} = h_{xyB2} \begin{cases} \rightarrow x = L \\ \rightarrow y = L \end{cases} \quad (4)$$

Danau buatan 1 bagian atas akan berfungsi memberi limpasan air ke danau buatan 2 bagian atas dan merembeskan air ke danau buatan 1 bagian bawah (akuifer dangkal), sedangkan danau buatan 1 bagian bawah berfungsi mensuplai air ke dalam akuifer dalam dan juga memberi limpasan air ke danau buatan 2 bagian bawah pada saat mengalami jenuh air. Adapun persamaan untuk perhitungan pada danau buatan 1 adalah sebagai berikut :

$$\frac{dh_{A1}}{dt} = P(t) - E(t) - q_{A1} - q_{A3} \quad (5)$$

$$\frac{dh_{A2}}{dt} = q_{A3} - q_{A2} - q_{A4} \quad (6)$$

$$q_{A1} = A1 \cdot (h_{A1} - H_{A1}) \rightarrow h_{A1} > H_{A1} \quad (7)$$

$$q_{A2} = A2 \cdot (h_{A2} - H_{A2}) \rightarrow h_{A2} > H_{A2} \quad (8)$$

$$q_{A3} = A3 \cdot h_{A3} \quad (9)$$

$$q_{A4} = A4 \cdot h_{A4} \quad (10)$$

Pada danau buatan 2 bagian atas akan berfungsi memberi limpasan air ke danau buatan 3 bagian atas dan merembeskan air ke danau buatan 2 bagian bawah (akuifer dangkal), sedangkan danau buatan 2 bagian bawah berfungsi mensuplai air ke dalam akuifer dalam dan juga memberi limpasan air ke danau buatan 3 bagian bawah pada saat mengalami jenuh air. Adapun persamaan untuk perhitungan pada danau buatan 2 adalah sebagai berikut :

$$\frac{dh_{B1}}{dt} = P(t) - E(t) - q_{B1} - q_{B3} + q_{A1} \quad (11)$$

$$\frac{dh_{B2}}{dt} = q_{B3} - q_{B2} - q_{B4} + q_{A2} \quad (12)$$

$$q_{B1} = B1 \cdot (h_{B1} - H_{B1}) \rightarrow h_{B1} > H_{B1} \quad (13)$$

$$q_{B2} = B2 \cdot (h_{B2} - H_{B2}) \rightarrow h_{B2} > H_{B2} \quad (14)$$

$$q_{B3} = B3 \cdot h_{B3} \quad (15)$$

$$q_{B4} = B4 \cdot h_{B4} \quad (16)$$

Pada danau buatan 3 bagian atas akan berfungsi memberi limpasan air ke waduk resapan dan merembeskan air ke danau buatan 3 bagian bawah (akuifer dangkal), sedangkan danau buatan 3 bagian bawah berfungsi mensuplai air ke dalam akuifer dalam dan juga memberi limpasan air ke waduk resapan pada saat mengalami jenuh air. Adapun persamaan untuk perhitungan pada danau buatan 3 adalah sebagai berikut:

$$\frac{dh_{C1}}{dt} = P(t) - E(t) - q_{C1} - q_{C3} + q_{B1} \quad (17)$$

$$\frac{dh_{C2}}{dt} = q_{C3} - q_{C2} - q_{C4} + q_{B2} \quad (18)$$

$$q_{C1} = C1 \cdot (h_{C1} - H_{C1}) \rightarrow h_{C1} > H_{C1} \quad (19)$$

$$q_{C2} = C2 \cdot (h_{C2} - H_{C2}) \rightarrow h_{C2} > H_{C2} \quad (20)$$

$$q_{C3} = C3 \cdot h_{C3} \quad (21)$$

$$q_{C4} = C4 \cdot h_{C4} \quad (22)$$

Dan pada waduk resapan akan berfungsi menerima dan menampung air dari danau buatan dan mengalirkan air masuk ke dalam akuifer dalam sehingga daya simpan air akuifer bertambah menjadi optimal. Adapun persamaan untuk perhitungan pada waduk resapan adalah sebagai berikut :

$$\frac{dh_{WR}}{dt} = P(t) - E(t) - q_{W1} - q_{W2} + q_{W4} + q_{C1} + q_{C2} \quad (23)$$

$$q_{W1} = W1 \cdot (h_{W1} - H_{WR}) \rightarrow h_{W1} > H_{WR} \quad (24)$$

$$q_{W2} = W2 \cdot (h_{W2} - H_{WR}) \rightarrow h_{W2} > H_{WR} \quad (25)$$

$$q_{W4} = W4 \cdot h_{WR} \quad (26)$$

Studi Kota Bogor

Kota bogor sering juga disebut sebagai kota hujan, merupakan daerah pengisian airtanah (recharge area) dan pensuplai air pada daerah urban, khusus-nya Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta yang merupakan wilayah langganan banjir. Oleh karena itu, perlu dilakukan tindakan pencegahan terhadap bahaya banjir pada daerah Jakarta yaitu dengan cara membangun waduk resapan pada Kota Bogor guna mengoptimisasi fungsi akuifer dengan meningkatkan daya serap air pada akuifer sehingga dapat mengurangi limpasan air permukaan (run off) yang merupakan penyebab utama banjir karena ketidakmampuan sungai untuk menampung air tersebut.

Secara geografis Kota Bogor terletak di sebelah selatan Propinsi Jawa Barat bagian tengah pada posisi 106o43' – 106o 51' BT dan 6o31' – 6o40' LS, dengan luas 118,50 Km2, berada ± 56 km di sebelah selatan Kota Jakarta, Ibukota Negara Indonesia. Batas-batas administratif Kota Bogor adalah sebagai berikut :

- Sebelah utara Kecamatan Sukaraja, Kecamatan Bojong Gede dan Kecamatan Kemang, Kabupaten Bogor.
- Sebelah barat Kecamatan Ciomas dan Kecamatan Dramaga, Kabupaten Bogor.
- Sebelah selatan Kecamatan Cijeruk dan Kecamatan Caringin, Kabupaten Bogor.
- Sebelah timur Kecamatan Sukaraja dan Kecamatan Ciawi, Kabupaten Bogor.

Secara administrasi wilayah Kota Bogor sebesar 11.850 Ha terdiri dari 6 kecamatan dan 68 kelurahan. Kemudian secara administratif Kota Bo-gor terdiri dari 6 wilayah kecamatan yaitu Keca-matan Bogor Selatan, Kecamatan Bogor Tengah, Kecamatan Bogor Barat, Kecamatan Bogor Timur, Kecamatan Bogor Utara dan Kecamatan Tanah Sereal, serta 31 kelurahan dan 37 desa (lima diantaranya termasuk desa tertinggal yaitu Desa Pamoyanan, Genteng, Balungbangjaya, Mekarwangi dan Sindangrasa), 210 dusun, 623 Rukun Warga (RW), 2.712 Rumah Tangga (RT). Gambaran admistrasi Kota Bogor dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Peta orientasi lokasi Kota Bogor (Anonim, 2004a).

Berdasarkan Perda No. 1 Tahun 2000 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah tahun 1999-2009 fungsi Kota Bogor adalah :

- Sebagai Kota Perdagangan
- Sebagai Kota Industri
- Sebagai Kota Permukiman
- Wisata Ilmiah
- Kota Pendidikan

Iklim

Kota Bogor dan sekitarnya mempunyai iklim tropis dan menurut klasifikasi Koppen termasuk tipe Alfa yang berarti daerah hutan tropis. Menurut klasifikasi Schmidt-Ferguson, Kota Bogor termasuk tipe iklim A yang berarti daerah sangat basah.

Kota Bogor terletak pada ketinggian antara 190 sampai dengan 350 meter diatas permukaan laut dengan curah hujan rata-rata 4.000 mm/tahun. Tingginya curah hujan di Kota Bogor menyebabkan mendapat julukan Kota Hujan, dan terkadang salah diartikan juga sebagai daerah pengirim banjir ke Jakarta melalui dua sungai besar, yaitu Sungai Ciliwung dan Sungai Cisadane.

Suhu udara rata – rata bulanan 26O C dengan suhu terendah 21,8O C dan tertinggi 30,4O C. Curah hujan termasuk tinggi, yaitu mencapai 3500-4000 mm per tahun dengan kelembaban udara 70 %. Kecepatan angin cukup rendah, dengan rata-rata 1,2 m/detik dengan evaporasi di daerah terbuka rata-rata sebesar 146,2 mm/bulan.

Keberadaan Kebun Raya Bogor di tengah Kota Bogor sebagai paru-paru kota dan kebun percobaan darmaga (CIFOR) seluas 60 Ha serta, Situ Gede sekitar 4 Ha, menyebabkan Kota Bogor memiliki atmosfer yang sejuk dan segar.

Topografi

Kota Bogor memiliki bentang alam dengan ketinggian 450 dpl yang merupakan daerah perbukitan bergelombang dengan ketinggian yang bervariasi antara 190 s/d 350 m diatas permukaan laut dengan kemiringan lereng berkisar 0-2 % (datar) seluas 1.763,94 Ha, 2-15 % (landai) seluas 8.091,27 Ha, 15-25 % (agak curam) seluas 1.109,89 Ha, 25-40 % (curam) seluas 764,96 Ha, dan > 40 % (sangat curam) seluas 119,94 Ha.

Geologi

Secara umum Kota Bogor ditutupi oleh batuan Vulkanik yang berasal dari endapan (batuan sedimen) dua gunung berapi, yaitu Gunung Pangrango (berupa satuan breksi tufaan/kpbb) dan Gunung Salak (berupa aluvium/Kal dan kipas aluvium/kpal). Lapisan batuan ini berada agak dalam dari permukaan tanah dan jauh dari daerah aliran sungai.

Endapan permukaan umumnya berupa aluvial yang tersusun oleh tanah, pasir dan kerikil, hasil dari pelapukan endapan, hal ini baik untuk vegetasi. Dari struktur geologi tersebut, maka Kota Bogor memiliki jenis aliran andesit seluas 2.719,61 Ha, Kipas aluvial seluas 3.249,98 Ha, endapan 1.372,68 Ha. Tufaan 3.395,75 Ha dan lanau breksi tufaan dan capili seluas 1.112,56 ha.

Endapan permukaan umumnya berupa aluvial yang tersusun oleh tanah, pasir, dan kerikil hasil dari pelapukan endapan. Endapan permukaan tersebut menghasilkan tanah-tanah yang relatif subur. Jenis tanah yang dominan adalah latosol coklat kemerahan, andosol coklat dan aluvial kelabu. Secara garis besar Kota Bogor dapat dikelompokkan menjadi 6 (enam) satuan morfologi, seperti dapat dilihat pada tabel 1 berikut :

Tabel 1 Kemiringan Lereng Berdasarkan Luas Lahan Kota Bogor (Anonim, 2007b)

Kecamatan	KEMIRINGAN LERENG (Ha)				
	0 - 2 %	2 - 15 %	15 - 25	25 - 40 %	> 40 %
	Datar	Landai	Agak curam	Curam	Sangat curam
Bogor Utara	137,85	1.565,65	-	68,00	0,50
Bogor Timur	182,30	722,70	56,00	44,00	10,00
Bogor Selatan	169,10	1.418,40	1.053,89	350,37	89,24
Bogor Tengah	125,44	560,47	-	117,54	-
Bogor Barat	618,40	2.502,14	-	153,81	-
Tanah Sareal	530,85	1.321,91	-	31,24	-
JUMLAH	1.763,94	8.091,27	1.109,89	764,96	119,94

Sumber : Data pokok pembangunan Kota Bogor 2003

Hidrologi dan Hidrogeologi

Kota Bogor berada pada dua Daerah Aliran Sungai (DAS). Sungai-sungai yang ada di wilayah Kota Bogor antara lain : Sungai Ciliwung, Sungai Cije-ruk, Sungai Cipaku, Sungai Ciapus, Sungai Cisadane, Sungai Cikaret, Sungai Cipinang Gading, Sungai Cikeumeuh, Sungai Kampung, Sungai Cigede Wetan, dan Sungai Cigede Kulon. Di Kota Bogor terdapat dua buah danau (situ) yaitu Situ Gede dan Situ Panjang.

Sungai Cisadane adalah sungai yang melintasi Kota Bogor. Sungai ini digunakan sebagai sumber air baku bagi PDAM Kota Bogor dan sebagai drainase makro.

Berdasarkan keterdapatan dan produktivitas akuifernya daerah pemetaan (Peta Hidrogeologi Indonesia lembar 1209-1 Bogor, Jawa Barat dalam Anonim, 2004b) dibedakan menjadi dua sistem akuifer, yaitu:

1. Akuifer endapan permukaan, debit sumur antara 1-5 l/dtk dijumpai pada daerah relatif datar dan kaki bagian utara dan selatan G. Gede - Pangrango, debit sumur kurang dari 1 l/dtk dijumpai di daerah pebukitan dan setempat daerah dataran, serta daerah airtanah langka dijumpai di daerah, tonjolan tajam.

2. Akuifer Batuan Dasar, debit sumur 5-25 l/dtk dijumpai di sebelah selatan dan timur kaki G. Gede-Pangrango dan sebelah utara kaki G. Salak, debit kurang dari 5 l/dtk menempati daerah lereng G. Gede-Pangrango, G. Salak dan daerah utara Bogor.

Tata Guna Lahan

Pola penggunaan lahan identik dengan struktur penggunaan lahan di mana wilayah Kota Bogor memiliki luas 11.850 Ha. Dari luas wilayah tersebut terdistribusi kedalam lahan permukiman seluas 8.296,63 Ha atau 70,01 % dan pada umumnya wilayah permukiman ini berkembang secara linier mengikuti jaringan jalan yang ada, sehingga berpotensi dalam menambah laju tingkat perkembangan wilayah Kota Bogor.

Penggunaan lahan untuk pertanian baik sawah maupun ladang seluas 854,67 Ha atau 7,212 % dan penggunaan kebun campuran mencapai 85,00 Ha atau 0,717 %. Sedangkan penggunaan lahan untuk hutan kota seluas 141,50 Ha atau 1,19 %, dan sisanya untuk kegiatan lainnya seperti fasilitas sosial, perdagangan dan jasa, perkantoran, kuburan, taman dan lapangan olah raga lokasi menyebar di Wilayah Kota Bogor.

Tabel 2 Penggunaan Lahan Kota Bogor Tahun 2003 (Anonim, 2007b)

JENIS PENGGUNAAN	Luas (Ha) Tahun 2003	Prosentase (%)
Permukiman	8.300,00	70,042
TPA Sampah	-	-
Kolam Oxidasi	1,50	0,013
Pertanian	854,67	7,212
Kebun Campuran	85,00	0,717
Industri	115,03	0,971
Perdagangan dan jasa	726,80	6,133
Perkantoran /pemerintahan	98,00	0,827
Hutan Kota	141,50	1,194
Taman /Lapangan	250,48	2,114
Olah Raga	299,28	2,526
Kuburan	337,07	2,845
Sungai/Situ/Danau	629,37	5,311
Jalan	2,70	0,023
Terminal dan sub terminal	5,60	0,047
Statsiun Kereta Api	3,00	0,025
RPH dan Pasar Hewan	-	-
JUMLAH	11.850,00	100,00

Sumber : Dinas Permukiman Tahun 2003

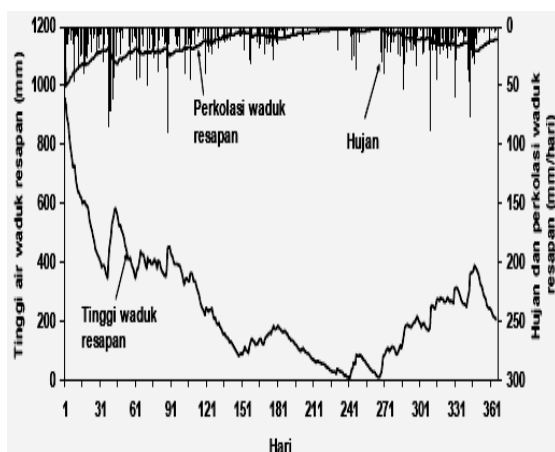
Klimatologi

Jumlah curah hujan rata-rata di wilayah Kota Bogor berkisar antara 3.000 sampai 4.000 mm/tahun. Curah hujan bulanan berkisar antara 250 - 335 mm dengan waktu curah hujan minimum terjadi pada Bulan September sekitar 128 mm, sedangkan curah hujan maksimum terjadi di Bulan Oktober sekitar 346 mm. Temperatur rata-rata wilayah Kota Bogor berada pada suhu 26°C , temperatur tertinggi sekitar $30,4^{\circ}\text{C}$ dengan kelembaban udara rata-rata kurang lebih 70 %.

Hasil dan Pembahasan Perancangan Model Waduk Resapan di Kota Bogor

Simulasi dilakukan pada hari hujan tahun 2003 pada daerah dengan luas 200.000 m^2 yaitu di Kecamatan Bogor Tengah dan Kecamatan Tanah Sereal sebagian pada Kecamatan Bogor Timur dan sebagian pada Kecamatan Bogor Timur. Nilai konduktivitas hidrolika yang digunakan pada simulasi adalah 45 m/hari dan storativitas 0.005 (Waspodo, 2002 dalam Setiawan, Budi I. dkk., 2003). Kondisi awal tinggi air pada akuifer homogen 10,3 meter sebelum adanya air yang meresap ke dalam akuifer dan setelah adanya air yang meresap ke dalam akuifer dengan nilai resapan sebesar $2,1 \times 10^{13}\text{ mm}^3/\text{th}$ sehingga akuifer homogen menjadi 10,7 meter.

Berdasarkan perhitungan model dengan menggunakan simulasi tank model dengan data pada tahun 2003 sehingga didapatkan hasil perhitungan berupa hubungan tinggi air dan perkolasi waduk resapan dengan curah hujan yang dapat dilihat pada gambar 3 berikut ini :



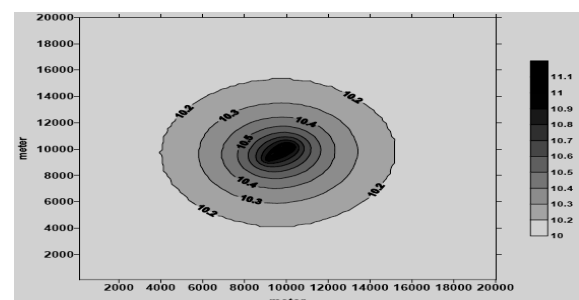
Gambar 3 Hubungan tinggi air dan perkolasi waduk resapan dengan curah hujan (Setiawan, Budi I. dkk., 2003)

Pada gambar 3 memperlihatkan hubungan hujan, tinggi air waduk resapan dan air yang dirembeskannya ke dalam akuifer. Ketinggian air waduk resapan sangat dipengaruhi oleh hujan dan evaporasi sebagai masukan model. Semakin tinggi air waduk resapan jumlah air yang diresapkan ke dalam akuifer juga semakin banyak dan perkolasi waduk resapan semakin rendah.

Kontribusi waduk terhadap jumlah air yang diresapkan ke dalam akuifer mencapai $1.1382 \times 10^{13}\text{ mm}^3/\text{th}$ (54,2 %) sedangkan danau 1, 2 dan 3 berturut-turut sebesar $0,3864 \times 10^{13}\text{ mm}^3/\text{th}$ (18,4 %); $0,2835 \times 10^{13}\text{ mm}^3/\text{th}$ (13,5 %) dan $0,2919 \times 10^{13}\text{ mm}^3/\text{th}$ (13,9 %). Efektivitas keberadaan waduk resapan mencapai 100 %. Sehingga dari hasil perhitungan di atas, maka nilai resapan airtanah dengan adanya waduk resapan adalah sebesar $4,2 \times 10^{13}\text{ mm}^3/\text{th}$.

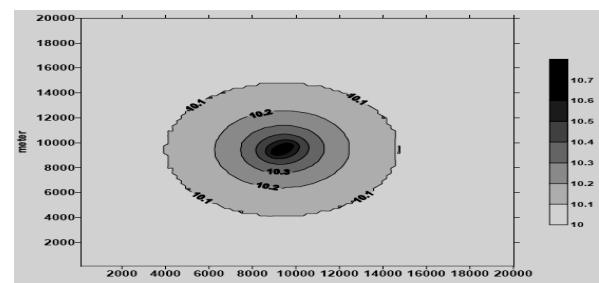
Berdasarkan data dan perhitungan tinggi akuifer yang telah dilakukan kemudian dibuat model kontribusi tinggi air pada akuifer dengan adanya waduk resapan dan tanpa waduk resapan dengan menggunakan software Golden Surfer 8 yang terdapat pada gambar 4 dan 5.

Model kombinasi persamaan kontinuitas dan tank model telah dikembangkan untuk menganalisis efektivitas suatu waduk resapan. Model yang dikembangkan dapat menggambarkan perilaku waduk resapan dan air akuifer secara harian. Model telah dikemas dalam software dibawah Windows dan masih perlu verifikasi dan digunakan sebagai alat bantu untuk merancang waduk resapan.



Gambar 4 Distribusi tinggi air bawah tanah dengan adanya waduk resapan setelah 300 hari (Setiawan, Budi I. dkk., 2003).

Pada gambar 4 memperlihatkan bahwa tinggi air akuifer maksimal bisa mencapai 11,1 meter dengan adanya waduk resapan.



Gambar 5 Distribusi tinggi air bawah tanah tanpa adanya waduk resapan setelah 300 hari (Setiawan, Budi I. dkk., 2003).

Pada gambar 5 memperlihatkan bahwa tinggi air akuifer maksimal hanya mencapai 10,7 meter tanpa adanya waduk resapan.

Kesimpulan

Ilmu hidrogeologi sangat penting untuk mempelajari tentang airtanah dan sistem akuifer sebagai suatu wadah dari airtanah itu sendiri. Untuk mengetahui airtanah harus memahami siklus hidrologi sehingga dapat diketahui proses pembentukan airtanah. Sedangkan dalam pembentukan airtanah perlu diperhatikan sifat batuan terhadap airtanahnya dan berdasarkan sifat batuan terhadap airtanah tersebut dapat ditentukan sistem akuifer, jenis akuifer dan karakteristik akuifer dari airtanah tersebut.

Waduk resapan merupakan aplikasi dari ilmu hidrogeologi untuk meningkatkan optimalisasi akuifer airtanah yaitu dengan sistem meningkatkan daya resap akuifer terhadap airtanah. Oleh karena itu, harus diperhatikan parameter-parameter hidrogeologi yang berperan dalam pembuatan waduk resapan yaitu koefisien aliran, evaporasi dan evapotranspirasi serta infiltrasi dan perkolasinya.

Perancangan model pendugaan efektivitas waduk resapan terhadap optimalisasi akuifer airtanah sangat berperan penting dalam mengatasi limpasan air permukaan yang berlebih yang merupakan potensi penyebab bahaya banjir terutama pada daerah urban atau discharge area. Sehingga dengan demikian dapat mencegah banjir yaitu dengan mengurangi volume air permukaan yang mengalami limpasan (*run off*) dengan meningkatkan daya resap airtanah yang mengalami infiltrasi pada daerah pengisian airtanah (*recharge area*). Oleh karena itu, dalam pembuatan waduk resapan sangat membutuhkan konsep perancangan model dan perhitungan dari perancangan model tersebut yaitu dengan menggunakan sistem tank model. Model kombinasi persamaan kontinuitas dan tank model telah dikembangkan untuk menganalisis efektivitas suatu waduk resapan. Model yang dikembangkan dapat menggambarkan perilaku waduk resapan dan air akuifer secara harian. Model telah dikemas dalam software dibawah Windows dan masih perlu verifikasi serta dapat digunakan sebagai alat bantu untuk merancang waduk resapan.

Waduk resapan memiliki fungsi dan kontribusi yang sangat penting bagi suatu daerah. Dengan adanya waduk resapan yang disimulasikan oleh perhitungan dengan menggunakan tank model dapat diketahui perancangan model waduk resapan pada kota bogor menghasilkan nilai efektifitas waduk resapan terhadap optimalisasi akuifer airtanah sebesar 200 % yaitu dapat meningkatkan daya resapan akuifer dari ketinggian air akuifer 10,7 meter menjadi 11,1 meter. Oleh karena itu, perlu dibuat waduk resapan pada daerah pengisian yang sekarang ini telah banyak yang telah tertutup baik itu oleh pemukiman, perindustrian,

dan lainnya sehingga air tidak dapat meresap ke dalam bawah permukaan menuju akuifer airtanah.

Daftar Pustaka

1. Anonim, 1986, Laporan Studi Peran Water Catchment Area , [akses online 3 Desember 2007], [URL:http:// www.mst.or.id/simpang3/publiks/wca03.pdf](http://www.mst.or.id/simpang3/publiks/wca03.pdf)
2., 2004a, Kota Bogor, [akses online 8 November 2007], [URL:http://www. Bplhdjabar.go.id/soe/deskripsi%20wilayah/17.kota%20bogor.pdf](http://www.Bplhdjabar.go.id/soe/deskripsi%20wilayah/17.kota%20bogor.pdf)
3., 2004b, Peta Hidrogeologi, [akses online 8 November 2007], [URL:http:// www.dgtl.esdm.go.id/modules.php.htm](http://www.dgtl.esdm.go.id/modules.php.htm)
4., 2006 , Siklus Hidrologi, [akses online 8 November 2007], [URL:http:// www.ablink.or.d/Env/Hidro/Siklus/air-siklus.htm](http://www.ablink.or.d/Env/Hidro/Siklus/air-siklus.htm)
5., 2007a , Dual Porosity Aquifers, [akses online 10 Desember 2007], [URL:http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/WebPages/RPIO-4YD8NU?open](http://www.dpiw.tas.gov.au/inter.nsf/WebPages/RPIO-4YD8NU?open)
6., 2007b , Renstra Kota Bogor, [akses online 8 November 2007], [URL:http://www.kotabogor.go.id/index.php?option=com_content&task=view&id](http://www.kotabogor.go.id/index.php?option=com_content&task=view&id)
7. Chabibie, A., dkk, 2005, Buku Panduan Praktikum Geomorfologi, Program Studi Teknik Geologi, FT UNDIP, Semarang.
8. Hadihardjaja, J., 1997, Pengembangan Sumber Daya Air, Gunadarma, Jakarta.
9. Kodoatie, R.J., 1996, Pengantar Hidrogeologi, ANDI, Yogyakarta.
10. Setiawan, Budi I., dkk, 2003, Perancangan Model Pendugaan Efektivitas Waduk Resapan, [akses online 23 Oktober 2007], [URL:http://www.ipb.ac.id/~budindra/model_waduk_resapan.pdf](http://www.ipb.ac.id/~budindra/model_waduk_resapan.pdf)
11. Soemarto, C.D., 1999, Hidrologi Teknik, Erlangga, Jakarta.
12. Suharyadi, 1984, Geohidrologi, Jurusan Teknik Geologi, FT UGM, Yogyakarta

